

Variations dilatométriques de roches soumises à des cycles « humidification-séchage »

Variations in Length of Stones Undergoing Wetting and Drying Cycles

Ausdehnungsvariationen von Felsen, die einem periodischen Wechsel von feucht-trocken ausgesetzt wurden

Véronique Hamès, Jean-Pierre Lautridou, André Ozer et Albert Pissart

Volume 41, numéro 3, 1987

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/032690ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/032690ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Hamès, V., Lautridou, J.-P., Ozer, A. & Pissart, A. (1987). Variations dilatométriques de roches soumises à des cycles « humidification-séchage ». *Géographie physique et Quaternaire*, 41(3), 345–354.
<https://doi.org/10.7202/032690ar>

Résumé de l'article

Des expériences ont été entreprises afin de mesurer les variations de longueur que présentent, au cours d'alternances d'humidification et de séchage, différentes pierres naturelles, en particulier des calcaires. Tous les échantillons étudiés subissent des variations de longueur allant de 1 à 18 nmlcm. Certains échantillons présentent un allongement permanent qui s'accroît avec le nombre de cycles. Ce phénomène correspond probablement à la désagrégation mécanique des roches par humidification/séchage. La comparaison des résultats obtenus avec les caractéristiques connues des roches permet de considérer que c'est probablement l'eau adsorbée dans les pores les plus fins et dans les argiles qui est responsable des dilatations observées.

VARIATIONS DILATOMÉTRIQUES DE ROCHES SOUMISES À DES CYCLES «HUMIDIFICATION-SÉCHAGE»

Véronique HAMÈS, Jean Pierre-LAUTRIDOU, André OZER et Albert PISSART : premier, troisième et quatrième auteurs, Laboratoire de géomorphologie et géologie du Quaternaire, Université de Liège, 7, Place du XX Août, B-4000, Liège, Belgique ; deuxième auteur, Centre de géomorphologie du C.N.R.S., Université de Caen, rue des Tilleuls, F-14 000 Caen, France.

RÉSUMÉ Des expériences ont été entreprises afin de mesurer les variations de longueur que présentent, au cours d'alternances d'humidification et de séchage, différentes pierres naturelles, en particulier des calcaires. Tous les échantillons étudiés subissent des variations de longueur allant de 1 à 18 $\mu\text{m}/\text{cm}$. Certains échantillons présentent un allongement permanent qui s'accroît avec le nombre de cycles. Ce phénomène correspond probablement à la désagrégation mécanique des roches par humidification/séchage. La comparaison des résultats obtenus avec les caractéristiques connues des roches permet de considérer que c'est probablement l'eau adsorbée dans les pores les plus fins et dans les argiles qui est responsable des dilatations observées.

ABSTRACT *Variations in length of stones undergoing wetting and drying cycles.* Measurements were made on the changes in length of columns of stones from various rock types (mostly limestones) subjected to changing humidity. The samples showed various changes in length from 1 to 18 $\mu\text{m}/\text{cm}$. Some samples exhibited a permanent elongation of the columns. It is suggested that this phenomenon may have caused the mechanism of breakdown of rocks by hydratative shattering. Comparison of the results with the well-known properties of the rocks suggests that it is caused by adsorbed water in the finest pores and in the clay content of the samples.

ZUSAMMENFASSUNG *Ausdehnungsvariationen von Felsen, die einem periodischen Wechsel von feucht-trocken ausgesetzt wurden.* Man hat Experimente unternommen, um die Ausdehnungsvariationen zu messen, die verschiedene natürliche Steine, insbesondere Kalksteine, im Laufe periodischer Wechsel von feucht und trocken aufweisen. Alle untersuchten Proben machen Längenvariationen zwischen 1 bis 18 $\mu\text{m}/\text{cm}$ durch. Einige Proben weisen eine permanente Verlängerung auf, die entsprechend der Zahl der Perioden wächst: dieses Phänomen entspricht möglicherweise der mechanischen Zersetzung des Gesteins im feucht-trocken Wechsel. Wenn man die erzielten Resultate mit den bekannten Eigenschaften des Gesteins vergleicht, so kann man daraus schließen, daß wahrscheinlich das in den feinsten Poren und dem Lehm enthaltene Wasser für die beobachteten Veränderungen verantwortlich ist.

INTRODUCTION

Le rôle que joue l'hydratation dans la désagrégation des roches est reconnu depuis longtemps. En 1895, MERRILL invoque déjà l'action de ce processus qui produirait un gonflement de la roche. En 1916, BARTON précise, en ce qui concerne la désagrégation des granites, que l'alternance des conditions sèches et humides est responsable de la désagrégation la plus rapide. BLACKWELDER (1925) dans un article où il rejette le rôle de l'insolation dans la désagrégation considère l'hydratation comme un processus extrêmement important. REICHE, en 1945, pense que l'augmentation de volume par hydratation est sans doute la première cause de désintégration granulaire des roches endogènes grossières...

La même idée est reprise par la majorité des auteurs qui se sont intéressés ultérieurement à la désagrégation des roches. Elle ne provient toutefois pas d'observations directes du phénomène, mais de l'étude des effets de la désagrégation dans divers environnements climatiques. Quelques interprétations d'expériences comme celles de GRIGGS (1936) qui a constaté que des variations de température dans l'air sec étaient 100 fois moins efficaces que lorsque les échantillons sont aspergés d'eau, ou encore celle de BIROT (1968) qui a observé la désagrégation d'échantillons de grès modérément poreux, soumis pendant 3 ou 4 mois à des variations de température et d'humidité atmosphérique, ont donné un début de confirmation expérimentale à l'efficacité attribuée à ce processus (MAB-BUTT, 1977).

Des recherches tout à fait différentes ont permis à DUNN et HUDEC (1972) de montrer qu'une quantité importante d'eau absorbée par les roches est tenue par les forces d'adsorption et ne peut pas geler. Cette observation a conduit ces auteurs à mettre en doute l'efficacité du gel comme processus de désagrégation et à attribuer, aux actions d'hydratation, la fracturation des roches¹. Cependant, très peu de mesures ont été réalisées en ce qui concerne les variations dilatométriques dans des pierres naturelles comprenant des teneurs en argiles très faibles ; par contre, les variations de volume qui se produisent dans des matériaux fortement argileux sont bien connus (CHÊNEVERT, 1970). De telles variations de volume, dues à l'action de l'eau adsorbée, ont aussi été observées et mesurées par des matériaux poreux artificiels (FELDMAN et SEREDA, 1963). Pour des échantillons de pierres naturelles, HUDEC et SITAR (1975) ont sans doute été parmi les premiers à montrer que les processus d'hydratation déterminent des variations de taille mesurables. Par des mesures dilatométriques comparables à celles que nous présentons ci-dessous, ils montrent aussi que le coefficient de dilatation thermique des roches varie avec le degré d'humidité de celles-ci.

1. Rappelons que le phénomène d'adsorption de l'eau correspond à la rétention sur la surface minérale de molécules d'eau entière ; nous utiliserons aussi ici le terme hydratation pour ce phénomène. Par le terme absorption, nous désignons l'eau pénétrant dans les pores d'une roche : cette eau pouvant être à l'état libre ou absorbé.

Deux d'entre nous (PISSART et LAUTRIDOU, 1983) ont décrit les variations de longueur qui se produisent dans des échantillons de pierre de Caen (calcaire bathonien poreux) à la suite de leur immersion dans l'eau et de leur séchage. Les mesures effectuées montrent que, lors du séchage, ces variations de longueur sont proportionnellement les plus grandes quand la quantité d'eau contenue dans l'échantillon est faible. Comme les échantillons augmentent progressivement de longueur après quelques cycles humidification/séchage, les auteurs croient mesurer ainsi le processus de désagrégation des roches par hydratation.

Ajoutons encore pour terminer que les travaux de DUNN et HUDEC (1972) ne sont pas passés inaperçus. Ils ont conduit WHITE (1976) à publier un article rejetant l'action directe du gel, en faveur d'actions d'hydratation, hypothèse qui a retenu toute l'attention de WASHBURN (1979).

LES EXPÉRIENCES

Les expériences présentées ci-dessous ont fait l'objet d'un travail de fin d'études en sciences géographiques présenté à l'Université de Liège par V. HAMÈS (1985).

A) LES MESURES ET LE MODE OPÉRATOIRE

Lorsqu'on immerge un échantillon de roche, celui-ci présente, en absence de toute variation de température, une dilatation d'importance variable. Lors du séchage, l'échantillon se contracte (exemple : fig. 1). Afin d'étudier cette dilatation isotherme, des mesures de longueur ont été réalisées, à l'aide d'un comparateur (précision $\pm 1 \mu\text{m}$), sur des cylindres de roche de 4 cm de diamètre et de 8 à 9 cm de longueur. Simultanément, la pesée des échantillons (précision $\pm 0,01 \text{ g}$) a donné, par comparaison avec le poids sec, la teneur en eau de chaque échantillon au moment des mesures. Ces mesures ont été effectuées dans une enceinte thermostatique ($20^\circ\text{C} \pm 1,5^\circ\text{C}$).

Deux types de mesures ont été faites : d'une part, celle des variations de longueur et de poids des échantillons au cours d'un cycle et d'autre part, la mesure des effets dilatométriques provoqués par de nombreux cycles. Les échantillons ont subi un certain nombre de cycles « humidification

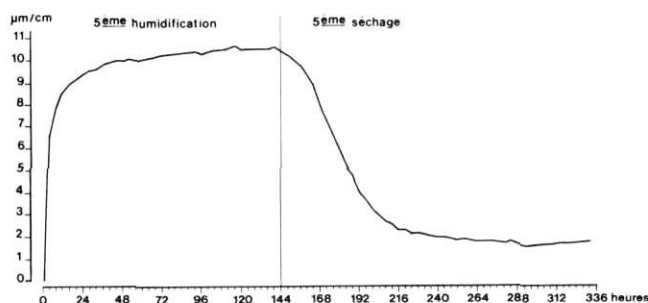


FIGURE 1. Variations de longueur d'un échantillon de pierre de Caen (n° 9) subissant une humidification (par immersion) pendant six jours, puis un séchage pendant huit jours.

Variation in length of a sample of stone from Caen (No. 9) undergoing wetting (by immersion) for six days then drying for eight days.

— séchage » (7, 9, 17, 25, selon les cas). L'humidification s'est faite par immersion progressive (24 h) et a duré 6 à 8 jours. Elle était suivie d'un séchage d'au moins 8 jours à l'air libre, puis dans un dessiccateur en présence de gel de silicate.

B) LES ÉCHANTILLONS

Les expériences se sont déroulées à Liège sur des échantillons provenant du Centre de géomorphologie du C.N.R.S. de Caen (éch. n° 7 à 46), de l'Université de Strasbourg (n° 47 à 52), et sur des échantillons prélevés en Belgique (n° 53 à 58). Les principales caractéristiques physiques et minéralogiques de ces roches sont déjà connues par d'autres études (LETAVERNIER, 1984 ; OZOUF, 1983 et des documents inédits du laboratoire du C.N.R.S. de Caen et de l'Institut de géologie de Strasbourg).

Le tableau I présente la liste et les caractéristiques des 26 échantillons utilisés dans les expériences rapportées ci-dessous. Il s'agit de 20 calcaires et de 6 grès, la localisation des carrières dont ils proviennent est donnée par la figure 2.

LES RÉSULTATS

Pour chaque échantillon, quatre types de graphiques ont été obtenus :

— Type I : l'évolution du poids (c'est-à-dire du contenu en eau) en fonction du temps au cours d'un cycle (exemple : fig. 3a)

— Type II : l'évolution de la longueur en fonction du temps au cours d'un cycle (exemple : fig. 3b)

Pour ces deux types de graphiques, les irrégularités au séchage résultent de la procédure expérimentale. En effet, au début de l'assèchement, afin de pouvoir suivre tout le

phénomène, les échantillons ont été enfermés pendant la nuit dans des sachets plastiques. Cela a évidemment arrêté la perte de poids et provoqué une augmentation de longueur, due à la redistribution de l'eau dans les pores.

TABEAU I

Description des échantillons expérimentés
(d'après LETAVERNIER, 1984 et OZOUF, 1983)

N°	Nom usuel	Étage géologique	Description	Porosité (%)
7-9	Pierre de Caen	Bathonien	Calcaires bioclastique crayeux	30,0
15	Arpagoux	Oxfordien-Rauracien	sublithographique et marneux	1,4
17	Chaumont	Bathonien moyen et supérieur	à oolithe miliaries et fausses oolithes et faux pisolithes	9,2
18	Verger	Oxfordien-rauracien	oolithique	11,7
20	Vilhonneur	Bajocien-Bathonien	oolithique parfois pisolithique	10,5
21	Le Breuil	Portlandien	micritique argileux	18,6
23	Lavoux	Collovien	à pellets, cimentation sparitique	24,1
24	Charentenay	Bathonien	à oolithes très fines, crayeux	25,8
25	Sireuil	Cenomanien	à pellets, loges de microorganismes cimentation sparitique	30,8
26	Fouqueure	Kimméridgien	micritique très fin	13,7
27	Beauvais-sur-Matha	Portlandien	micritique	12,5
28	Fleury	Bathonien	bioclastique crayeux	23,2
39-43-46	Caen	Bathonien	bioclastique crayeux	31,9
53-56-57-58	Petit granit	Tournaisien	calcaire crinoïdique à pâte fine	1,8
47-48-49	Grès à meules I.	Buntsandstein	grains de quartz et de feldspaths potassiques (10 à 15 %) à matrice siliceuse et argileuse (5,7 %)	25,0
50-51-52	Grès à meules II	Buntsandstein sup.	grains de quartz et de feldspaths potassiques (10 à 15 %) à matrice siliceuse et argileuse (6 %)	23,0

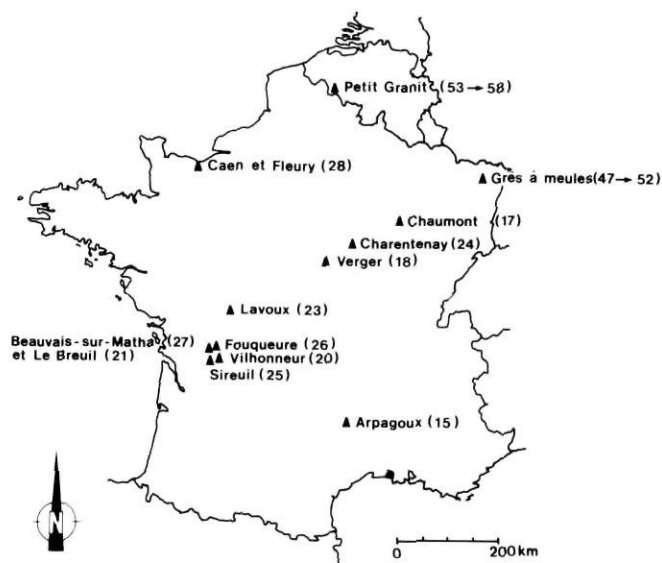


FIGURE 2. Localisation des carrières d'où proviennent les roches expérimentées.

Location of quarries from which the experimented rocks come.

— Type III : l'évolution de la longueur en fonction du poids. Cette courbe indique les relations existant entre les quantités d'eau que contient l'échantillon et les variations de longueur (exemple : fig. 3c)

— Type IV : l'évolution de la longueur au cours des cycles (exemple : fig. 3d) (certaines perturbations de la courbe sont dues au fait que l'assèchement ou l'humidification n'ont pas toujours été réalisés jusqu'au même point).

Un graphique de synthèse, présente les variations de poids et de longueur maximum observées pour chaque échantillon (fig. 4).

Les principales observations résultant de ces mesures sont les suivantes :

1. Toutes les roches étudiées, même les moins poreuses, se dilatent à température constante lorsqu'on les immerge dans l'eau. Cependant cette dilatation isotherme a une

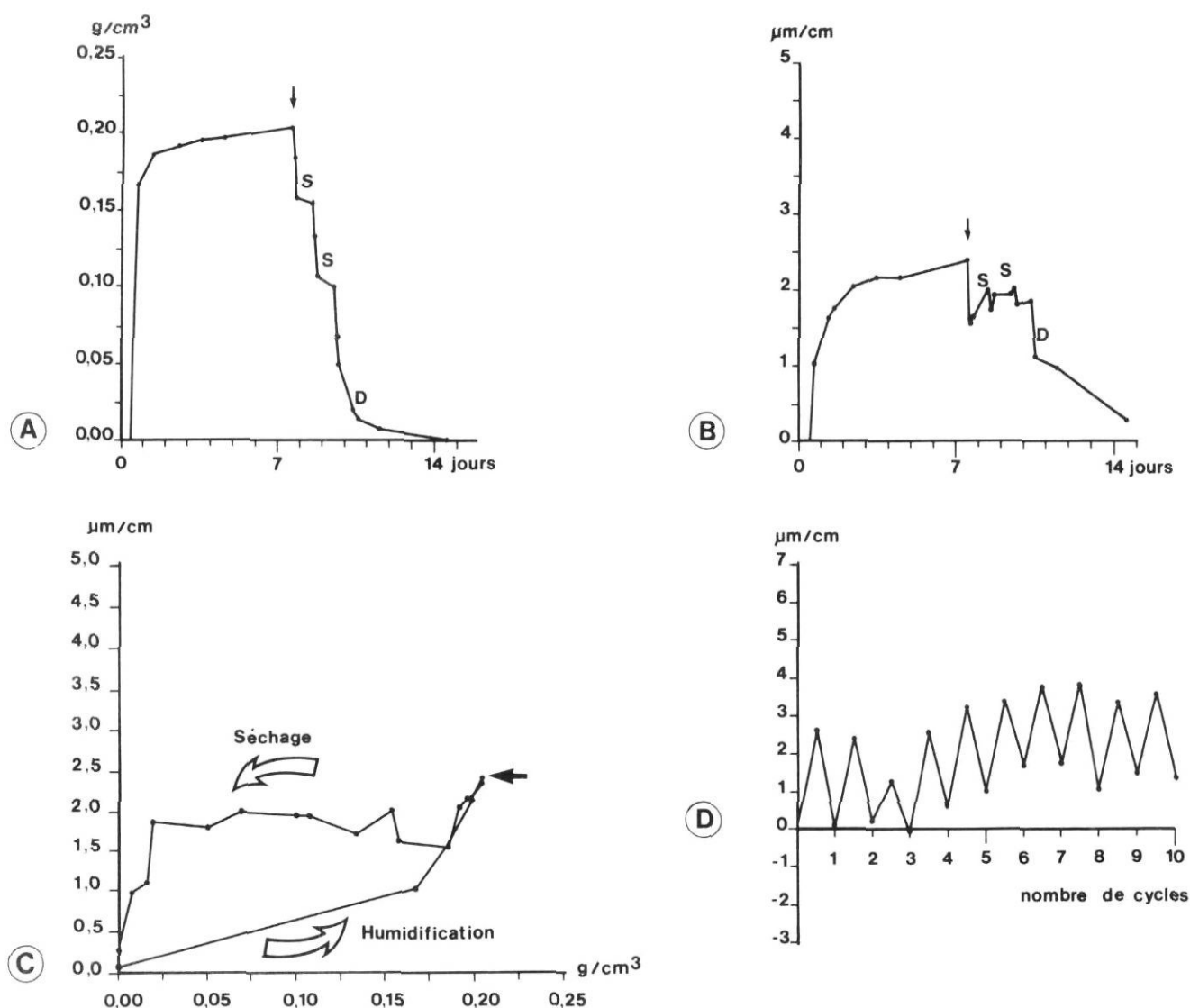


FIGURE 3. Exemple des quatre types de graphiques réalisés pour chaque échantillon. Ceux donnés ici concernent le calcaire de Fleury (n° 28). Pour les graphiques a, b et c, il s'agit du 2^e cycle subi par l'échantillon. a) Variations de poids en fonction du temps. b) Variations de longueur en fonction du temps. La petite flèche indique le début du séchage, le S le passage dans un sachet plastique pendant la nuit, le D le placement de l'échantillon dans le dessiccateur. c) Variations de longueur en fonction des variations de poids. Les grosses flèches indiquent le sens de déroulement du phénomène. d) Synthèse des variations de longueur de l'échantillon au cours de 10 cycles « humidification-séchage ».

Example of four types of graph drawn for each sample. The results here concern the limestone of Fleury (No. 28). Graphs a, b and c show the sample in its second cycle. a) Variation in weight over time. b) Variation in length over time. The small arrow marks the start of drying ; the S the overnight stay in a plastic bag ; the D the placing of the sample into the dessiccator. c) Variation in length over variation in weight. The large arrows mark the progress of the phenomenon. d) Synopsis of the variation in length of the sample over a period of 10 "wetting/drying" cycles.

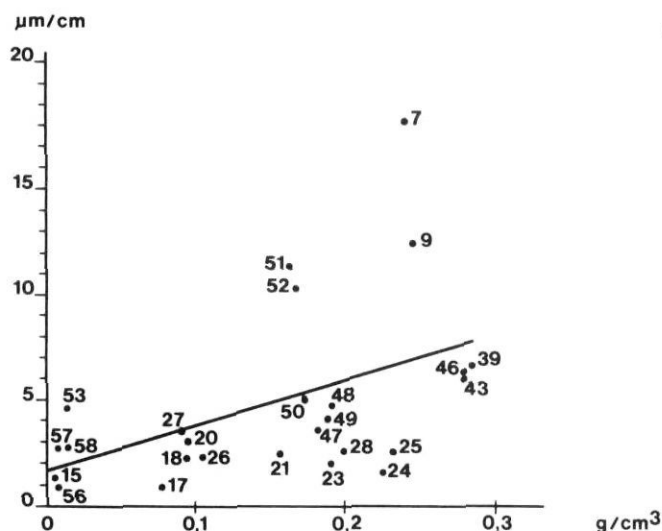


FIGURE 4. Corrélation entre l'augmentation de poids (g/cm^3) et l'augmentation de longueur ($\mu\text{m/cm}$) pour tous les échantillons étudiés. Coefficient de corrélation : 0,47, significatif au seuil de 5 %.

Correlation between the increase in weight (g/cm^3) and the increase in length ($\mu\text{m/cm}$) for all the samples studied. Coefficient of correlation : 0,47, significant on the threshold of 5 %.

importance très variable, de 1 à 18 $\mu\text{m/cm}$ pour les échantillons étudiés.

2. La dilatation observée n'est pas proportionnelle à la quantité d'eau absorbée par l'échantillon (fig. 4).

3. Sur un graphique représentant les variations de longueur en fonction des variations de poids, quatre phases peuvent être reconnues, deux pour l'humidification, deux pour le séchage. Elles sont schématisées sur la figure 5. Les première et troisième phases sont caractérisées par une importante variation de poids : l'eau absorbée (à l'humidification : 1^{re} phase) ou perdue (au séchage : 3^e phase) provoque peu de variations de longueur. Ces phases sont très rapides (quelques heures).

Pendant les deuxième et quatrième phases, au contraire, de faibles quantités d'eau, acquises ou perdues, provoquent de fortes variations de longueur. Ces phases sont plus lentes.

4. Si quatre phases sont observées pour tous les échantillons, les courbes obtenues diffèrent cependant par la quantité d'eau absorbée et la longueur acquise pendant chaque phase. Donnons quelques exemples :

— Vilhonneur (n° 20 — fig. 6) : les quatre phases sont bien distinctes, la quantité d'eau intervenant dans les phases 2 et 4 est inférieure à 5 mg/cm^3 .

— Verger (n° 18 — fig. 7) : la dilatation de ce calcaire est peu importante, mais on retrouve toujours les quatre phases.

— Caen (n° 46 — fig. 8) : ce calcaire poreux absorbe beaucoup d'eau et présente également une importante dilatation. La quantité d'eau intervenant lors des phases 2 et 4

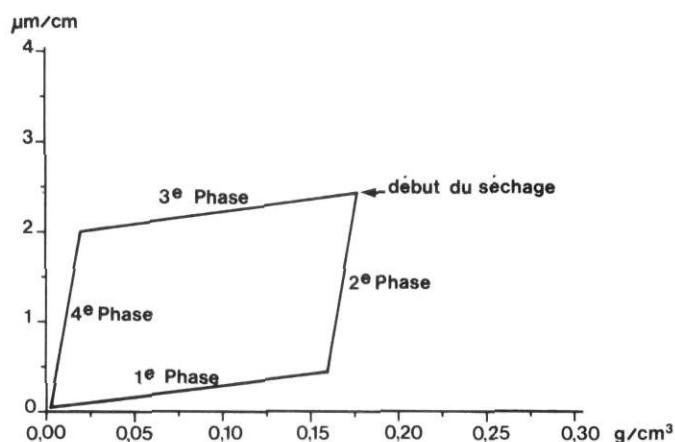


FIGURE 5. Schéma de l'évolution typique des variations de longueur et de poids d'un échantillon au cours d'un cycle « humidification-séchage ».

Diagram of the typical evolution of variation of length and weight of a sample during a "wetting/drying" cycle.

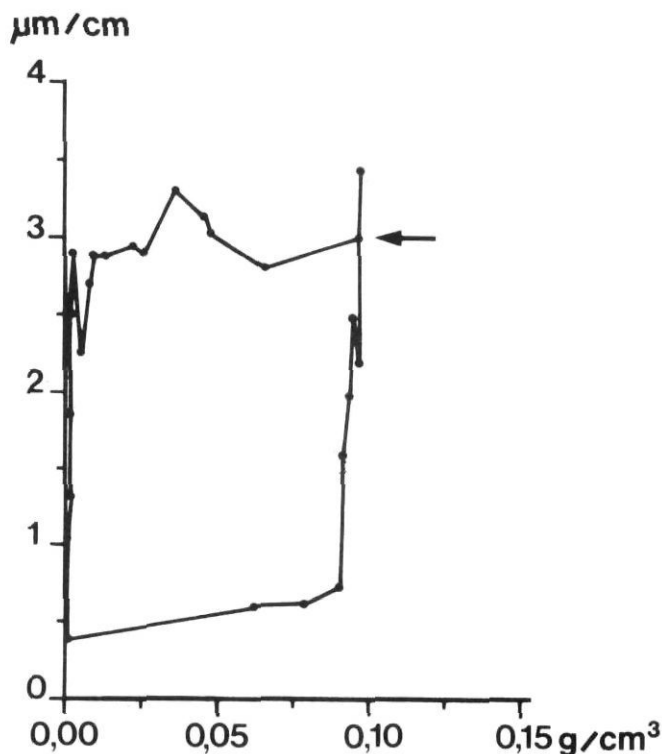


FIGURE 6. Variations de longueur en fonction des variations de poids mesurées au cours du premier cycle subi par le calcaire de Vilhonneur (n° 20, porosité : 10,8 %).

Variation in length over variation in weight measured for the limestone of Vilhonneur during the first cycle (sample No. 20, porosity : 10,8 %).

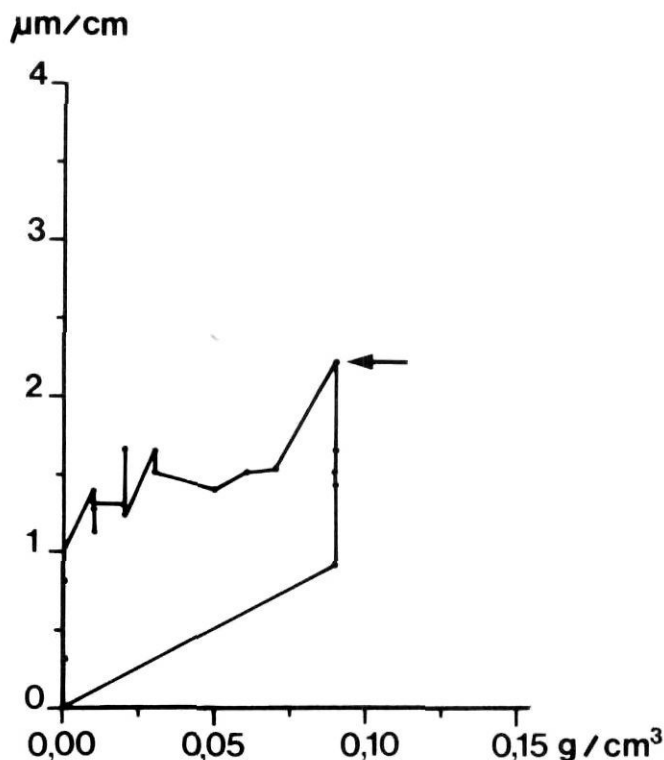


FIGURE 7. Variations de longueur en fonction des variations de poids mesurées au cours du premier cycle subi par le calcaire de Verger (n° 18, porosité : 11,7 %).

Variation in length over variation in weight measured for the limestone of Verger during the first cycle (sample No. 18, porosity : 11,7 %).

est beaucoup plus importante que pour les calcaires de Verger et Vilhonneur.

— Petit granit (n° 53 — fig. 9) : pour ce calcaire très peu poreux, seules les phases 2 et 4 sont présentes. La dilatation totale est importante malgré la faible quantité d'eau absorbée.

Rappelons que sur ces graphiques la précision est de $\pm 0,2 \mu\text{m}/\text{cm}$ et de $\pm 0,0001 \text{ g}/\text{cm}^3$.

5. D'un cycle à l'autre, ces courbes restent semblables pour chaque échantillon ; on peut donc considérer qu'elles sont caractéristiques de ceux-ci. Quand plusieurs échantillons d'un même bloc sont testés, les résultats sont semblables (exemple : fig. 4, éch. 39, 43 et 46) avec dans certains cas des différences non négligeables (fig. 4 — éch. 53, 56, 57 et 58).

6. Dans le cas du grès à meules II, la dilatation enregistrée est beaucoup plus importante pour les carottes perpendiculaires à la stratification (n° 51 et 52) que pour celle qui lui est parallèle (n° 50).

On ne retrouve pas une telle anisotropie dans le cas du grès à meules I (n° 48 et 49 perpendiculaires et n° 47 parallèle à la stratification).

Cette importante dilatation est due à la présence de smectite dans certains interlits argileux des grès à Meules II.

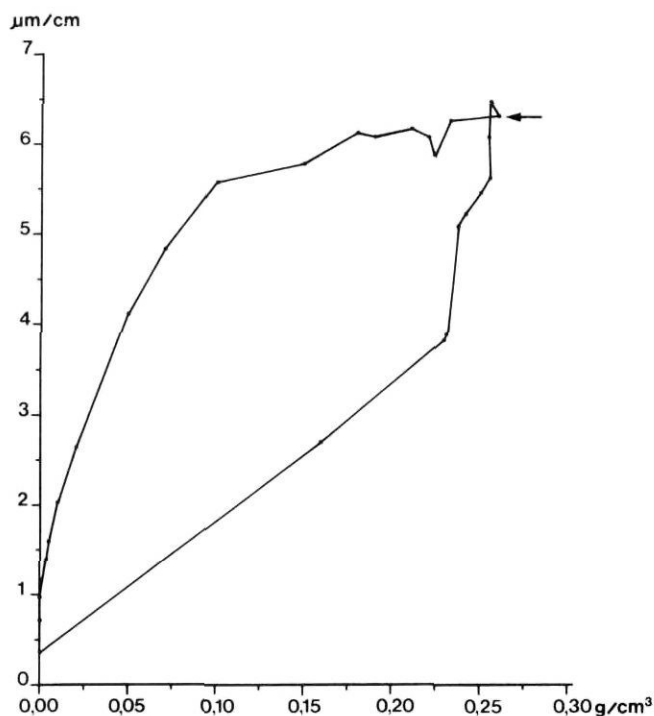


FIGURE 8. Variations de longueur en fonction des variations de poids mesurées au cours du premier cycle subi par le calcaire de Caen (n° 46, porosité : 32,0 %).

Variation in length over variation in weight measured for the limestone of Caen during the first cycle (sample No. 46, porosity : 32,0 %).

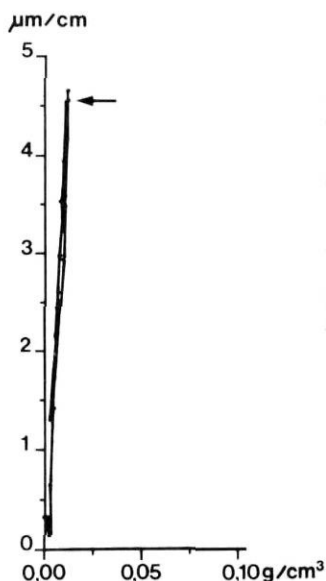


FIGURE 9. Variations de longueur en fonction des variations de poids mesurées au cours du premier cycle subi par le calcaire « Petit Granit » (n° 53, porosité : 2,0 %).

Variation in length over variation in weight measured for the limestone «Petit Granit» during the first cycle (sample No. 53, porosity : 2,0 %).

7. De cycle en cycle, la longueur finale de l'échantillon est mesurée. Pour certains, on observe une déformation permanente s'accroissant de cycle en cycle. Cette observation n'a pas été confirmée pour tous les échantillons. Ceux pour lesquels une telle augmentation de longueur est observée correspondent aux échantillons dont la dilatation au cours d'un seul cycle était très importante (exemple : éch. 9 : fig. 10 et 4).

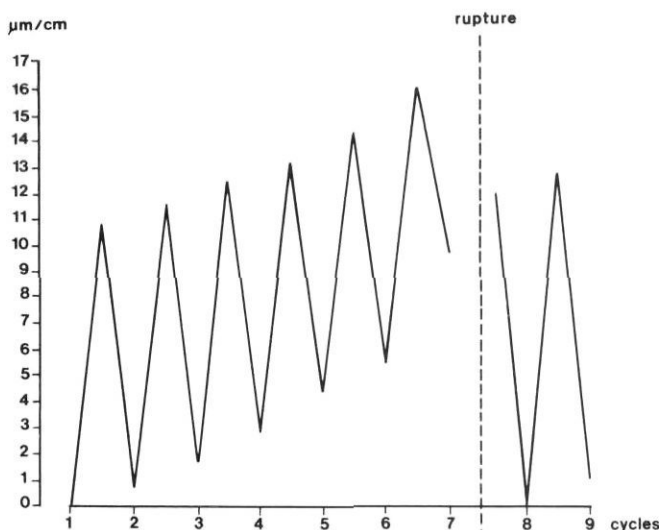


FIGURE 10. Évolution de la longueur d'un échantillon de pierre de Caen (n° 9) au cours de neuf cycles d'humidification et de séchage. La rupture correspond au moment où l'échantillon s'est fracturé. Il a été recollé et on a pris comme origine de l'ordonnée la longueur de l'échantillon à la fin du séchage suivant.

Evolution in length of a sample of rock from Caen (No. 9) over a period of nine cycles of wetting and drying. The rupture corresponds to the point at which the sample fractured. It was glued back together and the length of the sample at the end of the following drying was taken as the zero point of the ordinate.

L'INTERPRÉTATION

L'allongement des carottes présentant une très mauvaise corrélation avec la porosité totale (fig. 11)², il est évident que seule une partie de l'eau absorbée par l'échantillon est dilatométriquement active. C'est principalement celle qui intervient dans les phases 2 et 4 (fig. 5).

Les résultats des expériences ont été comparés avec toutes les caractéristiques physiques et chimiques connues de ces échantillons. Cependant, toutes n'ont pas été chaque fois prises en considération, car dans certains cas, des données manquaient.

La perméabilité et les propriétés dilatométriques des roches sont deux données très mal corrélées ; en effet, la perméabilité est importante pour les roches macroporeuses. Or nous obtenons des dilatations semblables pour des échantillons fort ou pas du tout macroporeux selon l'importance de leur microporosité. De même, l'absorption d'eau par capillarité ou immersion révèle des propriétés des roches autres que celles décelées par la dilatométrie. Les résultats étaient un peu meilleurs en ce qui concerne la microfissuration calculée d'après la célérité des ondes longitudinales (mesurée au Centre de Caen). Les roches les

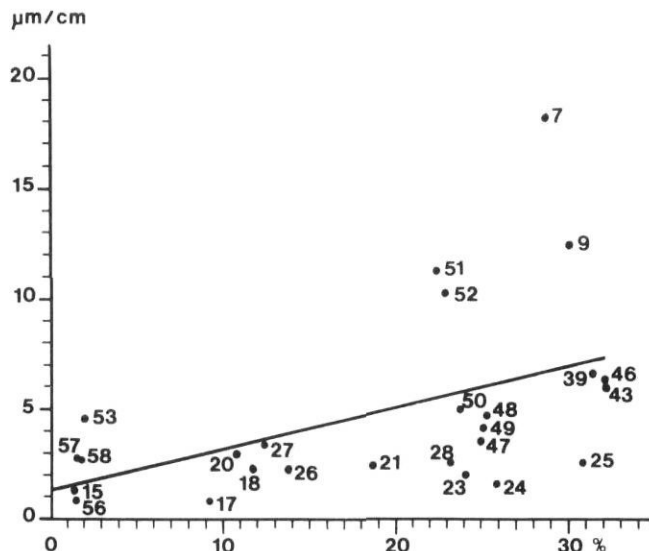


FIGURE 11. Corrélation entre la porosité (%) et l'augmentation de longueur (μm/cm) de tous les échantillons étudiés. Coefficient de corrélation : 0,49, significatif au seuil de 5 %.

Correlation between the porosity (%) and the increase in length of all the samples studied. Coefficient of correlation : 0,49, significant on the threshold of 5 %.

plus microfissurées se dilatant plus que les autres lors de leur immersion. Mais le nombre d'échantillons ainsi considérés était trop peu important.

Les influences les plus évidentes susceptibles d'expliquer nos résultats sont d'une part la porosité et d'autre part la teneur en argile des roches. Nous montrerons d'abord les relations existant entre ces deux facteurs et la dilatation, puis nous nous efforcerons d'en tirer les conclusions.

A) LA POROSITÉ

Nous disposons des courbes porosimétriques de la plupart de nos échantillons. La figure 12 donne la superposition de ces courbes pour les calcaires. Ceux-ci sont très variés : certains ont deux familles de pores (ex. : Sireuil, n° 25), d'autres ont une porosité très bien classée en une seule famille (ex. : Charentenay, n° 24), d'autres encore ont une porosité très mal classée, sans qu'il y ait deux familles de pores distinctes (ex. : Caen, nos 39, 43, 46).

La corrélation entre la dilatation maximale obtenue avec le rayon moyen des pores est relativement bonne (fig. 13), à condition de ne pas considérer les échantillons à porosité très mal classée et de prendre comme élément caractéristique de la porosité, le rayon moyen de la première famille de pores pour les échantillons qui en possèdent deux. Cette relation montre que la dilatation est inversement proportionnelle au rayon moyen des pores, donc proportionnelle à la surface spécifique des roches.

L'importance des pores les plus fins est confirmée par deux autres résultats :

Si l'on met en relation la dilatation obtenue lors de l'immersion dans l'eau avec le volume des pores de rayon (r) in-

2. La porosité totale a été obtenue par immersion sous vide pour les grès, et a été déduite de la densité de constitution pour les calcaires (d'après H. LETAVERNIER, 1984) :

$$\text{porosité totale} = \left(1 - \frac{\text{Poids sec}}{\text{densité calcite} \times \text{volume apparent}}\right) \times 100$$

N %

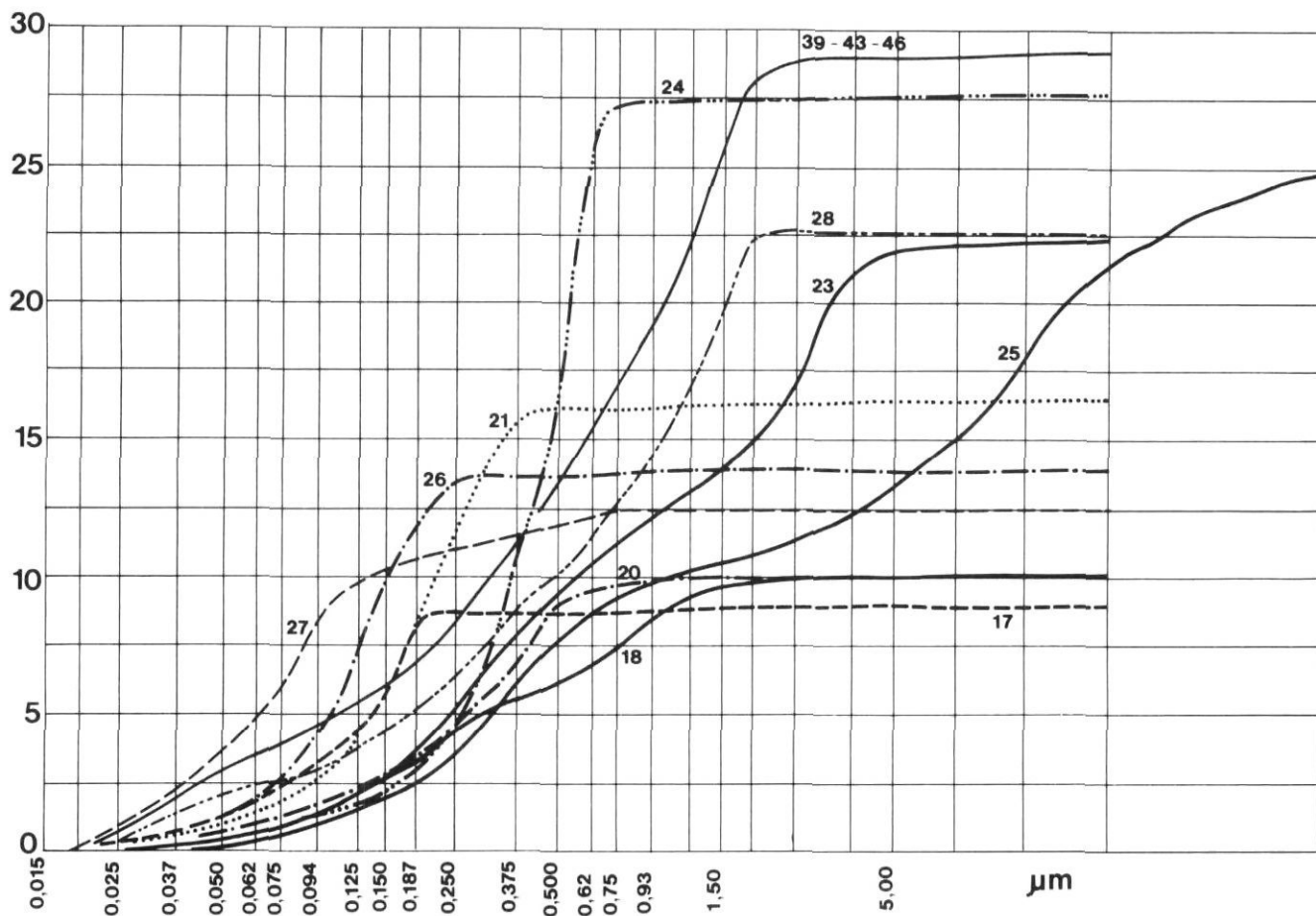


FIGURE 12. Superposition des courbes porosimétriques de tous les calcaires étudiés (d'après LETAVERNIER, 1984 et OZOUF, 1983).

Superposition of the porosimetric curves of all the limestones studied (after LETAVERNIER, 1984 and OZOUF, 1983).

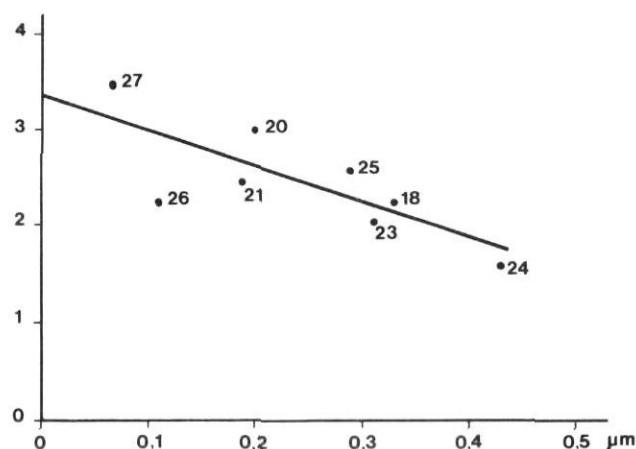
 $\mu\text{m/cm}$ 

FIGURE 13. Corrélation entre le rayon moyen de la principale famille de pores (μm) et l'augmentation de longueur ($\mu\text{m/cm}$) des échantillons. Coefficient de corrélation : 0,76, significatif au seuil de 5 %.

Correlation between the average radius (μm) of the principal family of pores and the increase in length ($\mu\text{m/cm}$) of the samples. Coefficient of correlation : 0,76, significant on the threshold of 5 %.

férier à une dimension donnée, on obtient une amélioration du coefficient de corrélation qui passe de 0,12 (pour $r < 0,500 \mu\text{m}$), à 0,33 (pour $r < 0,125 \mu\text{m}$), à 0,50 (pour $r < 0,75 \mu\text{m}$) et à 0,66 (pour $r < 0,050 \mu\text{m}$, coefficient significatif au seuil de 5 %). Les valeurs inférieures atteignent la limite d'investigation du porosimètre à mercure.

La quantité d'eau intervenant dans la phase 4 a aussi été mesurée lors du séchage et elle a été reportée sur les courbes porosimétriques afin de déterminer le rayon de pores encore remplis d'eau au début de cette phase si les pores se vident de manière décroissante. Alors que cette quantité d'eau varie de 2 à 26 mg/cm^3 suivant les échantillons, les valeurs de rayon de pores obtenues se situent entre 0,037 et 0,060 μm (et dans un cas : 0,065 μm). Les échantillons contenant plus d'eau pendant ces phases ont un volume plus important de pores de rayon inférieur à 0,060 μm .

B) LA TENEUR EN ARGILE

La teneur en argile des échantillons a été déterminée par pesée du résidu sec inférieur à 2 μm après dissolution. La nature de cette fraction a été déterminée par rayon X.

La figure 14 montre la relation existant entre la teneur en argiles (% de la roche) et l'augmentation maximale de longueur des échantillons lors de leur humidification. Les dila-

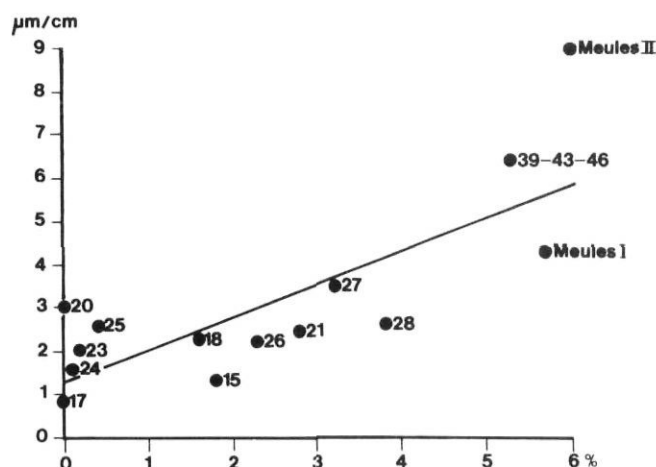


FIGURE 14. Corrélation entre la teneur en argile (%) et l'augmentation de longueur ($\mu\text{m}/\text{cm}$) des échantillons. Coefficient de corrélation : 0,79, significatif au seuil de 0,1%.

Correlation between the clay content (%) and the increase in length of the samples. Coefficient of correlation : 0,79, significant on the threshold of 0.1 %.

tations enregistrées sont donc en partie dues au gonflement des argiles à la suite de l'absorption d'eau. Par contre, l'analyse du type d'argiles contenu dans les roches (tabl. 11) n'a donné aucun résultat satisfaisant. La dilatation enregistrée n'est pas proportionnelle au pourcentage total d'argiles gonflantes (smectites) présentes dans les échantillons. Cependant, les échantillons subissant les plus fortes dilatations (Caen, grès à Meules II) contiennent de la smectite en quantité variable.

C) CONCLUSION

C'est l'eau adsorbée qui provoque les variations de longueur. La rupture de pente la plus souvent observée entre les phases 1 et 2 puis 3 et 4 traduit la présence de deux types d'eau : l'eau libre et l'eau adsorbée. Cette eau adsorbée agirait seule dans les phases 2 et 4. Les échantillons ayant le plus de pores très fins présentent la plus forte dilatation puisque l'adsorption dépend de la surface interne de l'échantillon. Au séchage, l'eau adsorbée est le plus fortement retenue dans les pores les plus fins. L'argile présente dans certains des échantillons augmente la capacité d'adsorption de ceux-ci.

CONCLUSION DÉSAGRÉGATION DES ROCHES PAR HUMIDIFICATION ET SÉCHAGE ?

Par suite des alternances d'humidification et de séchage subies par les échantillons, les allongements progressifs mesurés ont atteint pour certains quelque 50 μm après 6 cycles (fig. 10). La figure 15 montre le cas du calcaire de Vilhonneur (n° 20). Pour certains échantillons, les courbes sont plus irrégulières. D'autres, en particulier les échantillons n° 24 et 17, ont subi une contraction irrégulière.

TABLEAU II

Teneur et nature des argiles présentes dans les échantillons expérimentés

N°	Nom usuel	Teneur en argiles (%)	dont % (*) :				
			Kaolinite	Smectite	Illite	Chlorite	Interstr. (10-14 s) (Illite-Smect.)
Calcaires							
7-9	Pierre de Caen	5,3	0	90	10	0	0
15	Arpagoux	1,8	0	0	80	0	20
17	Chaumont	traces	35	0	65	traces	0
18	Verger	1,6	0	0	50	0	50
20	Vilhonneur	traces	20	0	45	0	35
21	Le Breuil	2,8	25	0	55	0	20
23	Lavoux	0,2	35	0	35	0	30
24	Charentenay	0,1	trop peu d'argile pour faire une analyse				
25	Sireuil	0,4	5	85	10	0	0
26	Fouqueure	2,3	45	0	35	0	20
27	Beauvais-sur-Matha	3,2	10	0	55	0	35
28	Fleury	3,8	0	80	20	0	0
39-43-46	Caen	5,3	0	90	10	0	0
53-56-57-58	Petit granit	—	non déterminé		—	—	—
Grès							
47-48-49	Grès à meules I	5,7	0	0	85	15	0
50-51-52	Grès à meules II	6,0	0	15	70	15	0

(*) : analyse semi-quantitative par mesure des hauteurs de raies, fraction analysée < 2 μm .

Les allongements, en tout cas, semblent être dus à un phénomène de fatigue de la roche subissant ces variations de longueur. Elle peut être due à l'élargissement de pores et de fractures. L'augmentation de la longueur est sans doute la première manifestation d'une désagrégation mécanique par alternance d'humidification et de séchage dont l'évolution doit logiquement aboutir à la rupture. Deux de nos échantillons ont présenté pareilles ruptures : les calcaires de Caen n° 7 et 9.

Pour qu'une telle désagrégation mécanique des roches survienne, il faut que la roche subisse d'importantes variations de longueur. Or celles-ci ne se produisent qu'au moment où l'échantillon perd l'eau de ses pores les plus fins ; comme cette eau est fortement tenue, elle ne peut être extraite qu'au cours d'une longue période de forte sécheresse. Nous comprenons ainsi pourquoi la désagrégation par humidification-séchage ne peut être efficace que dans les climats chauds et secs, du moins saisonnièrement (climat méditerranéen par exemple), qui seuls permettent

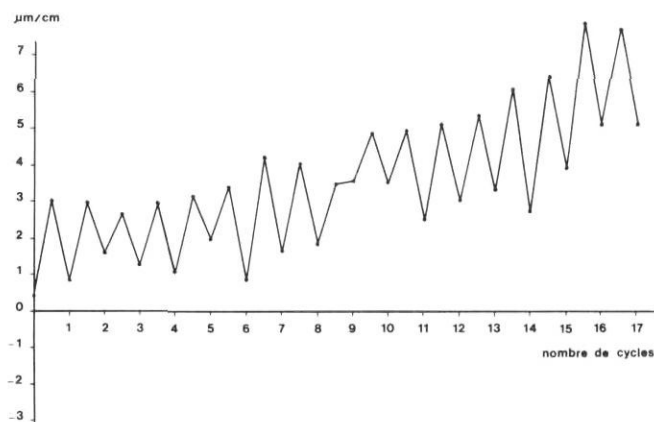


FIGURE 15. Évolution de la longueur d'un échantillon de calcaire de Vilhonneur (n° 20) au cours de 17 cycles d'humidification et de séchage. Les irrégularités de la courbe résultent principalement du fait que le même degré de dessiccation n'a pas toujours été obtenu pour chaque séchage.

Evolution of the length of a sample of limestone from Vilhonneur (No. 20) over a period of 17 cycles of wetting and drying. The irregularities in the curve are chiefly due to the fact that the same degree of dryness was not always achieved for each drying.

d'assécher suffisamment la roche. En outre, pour bien comprendre le processus, il faut aussi retenir, que pour réhydrater la roche, il n'est pas nécessaire de l'immerger, mais qu'une augmentation de l'humidité relative de l'air est suffisante, comme l'ont établi par ailleurs d'autres mesures que nous avons réalisées.

REMERCIEMENTS

Nous remercions très vivement monsieur D. Jeannette de l'Institut de géologie de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg (France) qui non seulement a eu l'obligeance de nous procurer les échantillons de grès à meules des Vosges qui ont été utilisés dans cette étude en nous précisant leurs caractéristiques, mais encore a bien voulu relire et proposer des améliorations au premier manuscrit.

Les mesures des teneurs en argiles et la détermination de leur nature ont été réalisées au Centre de Géomorphologie du C.N.R.S. de Caen par M.N. Le Coustumer et D. Rivaille. Nous les prions de trouver ici l'expression de notre gratitude.

Les remarques critiques de P.P. Hudec, et d'un lecteur anonyme nous ont permis d'améliorer considérablement notre manuscrit. Nous leur en sommes reconnaissants.

RÉFÉRENCES

- BARTON, D.C. (1916) : Notes on the disintegration of granite in Egypt, *Journal of Geology*, 24, p. 382-393.
- BIROT, P. (1968) : *Contribution à l'étude de la désagrégation des roches*, Centre de documentation universitaire, Paris, 232 p.
- BLACKWELDER, E. (1925) : Exfoliation as a phase of rock weathering, *Journal of Geology*, 33, p. 793-806.
- CHÈNEVERT, M.E. (1970) : Shale Alteration by Water Adsorption, *Journal of Petroleum Technology*, 22, p. 1141-1148.
- DUNN, J.R. et HUDEC, P.P. (1972) : Frost and sorption effects in argillaceous rocks, Frost Action in Soils, *Highway Research Record*, n° 393, p. 65-78.
- FELDMAN, R.F. et SEREDA, P.J. (1963) : Moisture content ; Its significance and interaction in a porous body, *International symposium on humidity and moisture Proceedings*, Washington, D.C., vol. 4, chap. 2, p. 233-243.
- GRIGGS, D.T. (1936) : The factor of fatigue in rock exfoliation, *Journal of Geology*, 44, p. 783-796.
- HAMÈS, V. (1985) : *Effets dilatométriques de variations d'humidité sur différentes roches sédimentaires ; Recherche expérimentale*, Mémoire de licence en sciences géographiques, inédit, conservé à l'Université de Liège, 176 + 133 p.
- HUDEC, P.P. (1973) : Weathering of rocks in arctic and sub-arctic environment, in *Proceeding of the Symposium on the Geology of the Canadian Arctic*, J.D. Aitken et D.J. Glass (édit.), Canadian Society of Petroleum Geologists and Geological Association of Canada, p. 313-335.
- (1974) : Rock weathering on the molecular level, *Engineering (Geology) Case Histories*, Geological Society of America, Boulder, Colorado, n° 11, p. 27-51.
- HUDEC, P.P. et SITAR, N. (1975) : Effect of water sorption on carbonate rock expansivity, *Canadian Geotechnical Journal*, 12, p. 179-186.
- LETAVERNIER, G. (1984) : La gélivité des roches calcaires, relation avec la morphologie du milieu poreux, Thèse 3^e cycle, mention Géographie, inédit, Caen, 181 p.
- MABBUTT, J.A. (1977) : *Desert Landforms ; An introduction to systematic geomorphology*, vol. 2, MIT Press, Cambridge, 340 p.
- MERRILL, G.P. (1895) : Disintegration of granitic rocks of the District of Columbia, *Bulletin of Geological Society of America*, 6, p. 321-332.
- MUGRIDGE, S.J. et YOUNG, H.R. (1982) : Disintegration of shale by cyclic wetting and drying and frost action, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20, 1983, p. 568-576.
- OZOUF, J.C. (1983) : *Comparaison de gélifractions naturels, de grèzes charentaises et de gélifractions fabriqués*, Thèse 3^e cycle, mention Géographie, inédit, Caen, 185 p.
- PISSART, A. et LAUTRIDOU, J.P. (1983) : Variations de longueur de cylindres de pierre de Caen (calcaire bathonien) sous l'effet de séchage et d'humidification, *Zeitschrift für Geomorphologie Neues Folge*, suppl. Bd. 49, Berlin — Stuttgart, p. 111-116.
- REICHE, P. (1945) : *A survey of weathering processus and products*, University of New Mexico, publications in Geology, n° 1, The University of New Mexico Press, 87 p.
- WASHBURN, A.L. (1979) : *Geocryology. A survey of periglacial processes and environments*, Edward Arnold, 406 p.
- WHITE, S.E. (1976) : Is frost action really only hydration shattering ? a review, *Arctic and Alpine Research*, 8, p. 1-6.